

# 福州市近百年强降水频数的统计特征

刘增基 邹 燕

吴 滨

(福建省气象台,福州 350001)

(福建省气候中心)

## 提 要

利用福州市近 110 年降水资料,通过数理统计和小波分析,揭示出该市近百年强降水频数的演变规律。分析显示:(1)3~9 月是强降水多发期,其中大暴雨( $R \geq 100\text{mm}$ )主要集中在 7~9 月的台风季节,而在 1~3 月及 11~12 月从未出现过。(2)大暴雨的年代分布呈准三波形式。(3)强降水( $R \geq 50\text{mm}$ )的历史演变有着较好的准 14 年周期。

关键词:暴雨 频数 统计 小波分析

## 引 言

福州市早自 1891 年起就有日降水量的观测纪录,至今已有上百年的历史,这是很宝贵的资料,为了更好地利用这些资料,通过统计分析,揭示出福州市大降水天气频数历史演变规律,以便为大降水天气的预报提供气候背景。我们对历年各月 24 小时(20~20 时)日降水量  $R_{24} \geq 50\text{mm}$ 、 $R_{24} \geq 100\text{mm}$  以及两者之间降水量级的频数分别进行统计,以揭示其气候特征。另外,为了更好地揭示出福州市强降水天气频数逐年和逐年代的气候演变规律,我们试用小波分析的方法进行分析研究,得到初步结果。

## 1 福州市近百年强降水的气候统计特征

### 1.1 统计方法

假定某量级  $k$  某年  $i$  某月  $j$  的大降水频数表示为  $P_{k,i,j}$ , 那么则有

(1)某量级历年某月的频数和  $P1_{k,j}$  为:

$$P1_{k,j} = \sum_{i=1}^n P_{k,i,j} \quad (1)$$

(2)某量级某年总频数  $P2_{k,i}$  为:

$$P2_{k,i} = \sum_{j=1}^{12} P_{k,i,j} \quad (2)$$

(3)某量级各年代总频数  $P3_{k,d}$  为:

$$P3_{k,d} = \sum_{i=1}^{10} P2_{k,10 \times (d-1) + i} \quad (3)$$

$d$  为年代序号,即  $d = 1, 2, \dots, NN, NN$  为总年代数。

### 1.2 各月不同量级强降水频数分布特征

表 1 是各月不同量级强降水频数的统计表,从表中可看到以下特点:

表 1 各月各量级大降水频数

| 月份   | $R \geq 100\text{mm}$ |      | $R \geq 50\text{mm}$ |      | $50 \sim 99\text{mm}$ |       |
|------|-----------------------|------|----------------------|------|-----------------------|-------|
|      | 频数                    | 频率/% | 频数                   | 频率/% | 频数                    | 频率/%  |
| 1 月  | 0                     | 0.0  | 1                    | 0.2  | 1                     | 0.28  |
| 2 月  | 0                     | 0.0  | 9                    | 2.1  | 9                     | 2.53  |
| 3 月  | 0                     | 0.0  | 17                   | 3.9  | 17                    | 4.79  |
| 4 月  | 1                     | 1.3  | 21                   | 4.9  | 20                    | 5.63  |
| 5 月  | 1                     | 1.3  | 51                   | 11.8 | 50                    | 14.08 |
| 6 月  | 9                     | 11.7 | 84                   | 19.5 | 75                    | 21.13 |
| 7 月  | 6                     | 7.8  | 55                   | 12.7 | 49                    | 13.80 |
| 8 月  | 26                    | 33.8 | 83                   | 19.3 | 57                    | 16.06 |
| 9 月  | 32                    | 41.6 | 89                   | 20.7 | 57                    | 16.06 |
| 10 月 | 2                     | 2.6  | 13                   | 3.0  | 11                    | 3.10  |
| 11 月 | 0                     | 0    | 5                    | 1.2  | 5                     | 1.41  |
| 12 月 | 0                     | 0    | 4                    | 0.9  | 4                     | 1.13  |
| 合计   | 77                    | 100  | 432                  | 100  | 355                   | 100   |

(1)日降水量  $R \geq 100\text{mm}$  的个例,百年来共发生 77 次,主要集中出现在 6~9 月间,占总数的 94.9%,其中最多的月份是 9 月,共有 32 次,占 41.6%,其次是 8 月,共有 26 次,也占总数的 33.8%,7~9 月 3 个月占总频数的 83.2%,可见福州的大暴雨主要发生在 7~9 月的台风季节里,1~3 月和 11~12 月这 5 个月中,近百年来未发生过日雨量达 100mm 的大暴雨。

(2)日雨量在 50~99mm 之间的暴雨共发生 355 次,一年中每月都有可能发生,5~9 月均为多发的月份,频数基本上都在 50 次以上,而其中最多的是 6 月份,达 75 次,占总数的 21.2%,8 月和 9 月均为 57 次,各占 16.1%,3~4 月和 10 月也达到 10 次以上,只有 1~2 月和 11~12 月在 10 次以下。

(3)从以上统计事实可知:①不同量级的强降水频数的月份分布有一个共同特点,多发期的末月均为 9 月,而初始月却随着降水量级的减小而提前;②日雨量  $R \geq 100\text{mm}$  的月频数最多者为 9 月,而  $R$  为 50~99mm 的月频数最多月均为 6 月份;③在近一百多年中  $R \geq 50\text{mm}$  强降水的总频数有 432 次,而其中 100mm 以上大暴雨约占 17.8%,一般暴雨占 82.2%;④大暴雨主要发生在台风季节,其中 7~9 月占总频数的 83.2%,而 5~6 月仅占 13%;一般性暴雨在前汛期和后汛期的频数十分接近。这些统计事实与自然季节降水特点相吻合的,前汛期降水一般是受北方西风带系统的影响,降水时间长,强度相对较弱,大到暴雨的频数要大些,而突发性强降水如大暴雨发生的几率要小些;在 7~9 月台风季节里,热带风暴和热带云团的影响比较频繁,而由于热带系统水汽极为充沛,垂直发展旺盛,常伴着强对流系统发展,带来的降水往往都是突发性和猛烈的强降水,大暴雨显然要比其他季节多;秋季降水的性质与前汛期相似,但趋逐步减弱。

### 1.3 各年代不同量级大降水频数分布特征

表 2 是从 1890~1999 年这 110 年中各年代(每 10 年)福州市各量级强降水频数统计表,从表中可看到以下事实:

表 2 各年代各量级大降水频数

| 年代        | $R \geq 100\text{mm}$ |      | $R \geq 50\text{mm}$ |      | 50~99mm |        |
|-----------|-----------------------|------|----------------------|------|---------|--------|
|           | 频数                    | 频率/% | 频数                   | 频率/% | 频数      | 频率/%   |
| 1890~1899 | 1                     | 1.3  | 16                   | 3.7  | 15      | 4.23   |
| 1900~1909 | 8                     | 10.4 | 51                   | 11.8 | 43      | 12.11  |
| 1910~1919 | 15                    | 19.5 | 46                   | 10.7 | 31      | 8.73   |
| 1920~1929 | 15                    | 19.5 | 56                   | 13.0 | 41      | 11.55  |
| 1930~1939 | 7                     | 9.1  | 42                   | 9.7  | 35      | 9.86   |
| 1940~1949 | 3                     | 3.9  | 31                   | 7.2  | 28      | 7.89   |
| 1950~1959 | 2                     | 2.6  | 36                   | 8.3  | 34      | 9.58   |
| 1960~1969 | 7                     | 9.1  | 38                   | 8.8  | 31      | 8.73   |
| 1970~1979 | 9                     | 11.7 | 34                   | 7.8  | 25      | 7.04   |
| 1980~1989 | 0                     | 0.0  | 36                   | 8.3  | 36      | 10.14  |
| 1990~1999 | 10                    | 13.0 | 46                   | 10.7 | 36      | 10.14  |
| 合计        | 77                    | 100  | 432                  | 100  | 355     | 100.00 |

(1)日降水量  $R \geq 100\text{mm}$  的大暴雨,在 110 年中共出现 77 次,平均每 10 年 7 次,假定每 10 年出现 5~9 次为正常年代,多于 9 次为偏多年代,少于 5 次为偏少年代,那么有 4 个正常年代,3 个偏多年代,4 个偏少年代,前 6 个年代呈偏少~正常~偏多~偏多~正常~偏少的演变态势,后 5 个年代呈偏少~正常~正常~偏少~偏多的变化(见图 1),综观近百年各年代呈准三波演变趋势。20 世纪 10 年代和 20 年代为异常多发期,频数各为 15 次,各占总数的 19.5%,40 年代、50 年代和 80 年代为偏少年代,特别是 80 年代甚至未出现过大暴雨。图 1 中上方曲线为各年代登陆和影响福建省的台风频数分布情

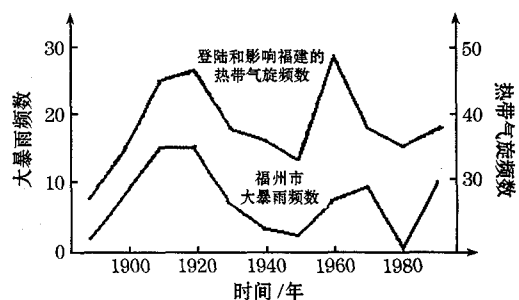


图 1 各年代大暴雨频数与台风频数比较图

况。比较二曲线的情况可清楚看出,位相基本一致,表明福州大于100mm的强降水主要是由台风影响造成的。

(2)一般性暴雨平均每10年32.3次,设频数为30~35次定为正常年代,多于35次为偏多,少于30次为偏少,那么属于正常年代的有4个,偏多的有4个,偏少的有3个,前6个年代呈偏少~偏多~正常~偏多~正常~偏少的演变态势,而后5个年代呈正常~正常~偏少~偏多~偏多的演变态势。20世纪第一个年代为最多年代,达43次,其次是20年代,也达到41次,最少为19世纪末叶,仅15次,其次是20世纪的70年代,仅25次,最多年代与最少年代相比,多28次,前者是后者的2.9倍。

(3)综上所述,从近110年大降水频数的年代分布看来,福州市大暴雨频数的年代演变似有一定的规律性,从而可推断未来10年可能是大暴雨偏多的年代;一般性暴雨的频数的年代分布的规律性不十分明显,不过有一点值得注意,前者在80年代和90年代均为偏多,而连续三个年代偏多的情况还未出现过,因此可推断未来十年一般性暴雨偏多的可能性相对较小,较大可能是偏少或正常。

## 2 福州市近百年强降水频数时间序列演变规律的小波分析

为了揭示福州市近百年强降水频数时间序列演变规律,我们取日降水量 $R_{24} \geq 50\text{mm}$ 的频数时间序列进行小波分析,在此基础上再进行归纳总结。

### 2.1 小波分析方法简介

小波分析又叫作子波分析。近年来,子波分析的数学理论和方法正在科技界形成热点,子波分析与富氏分析有相似之处,又有其独特的优点。经典的富氏分析是一种纯频域分析,在时(空)域中没有任何分辨,亦即富氏

变换的窗口宽度随频率增高而变窄,这符合高频信号的高分辨率的要求;同时,适当离散化的子波变换能构成标准正交系,这在理论和应用上都是非常有用的。子波变换被誉为数学显微镜,它能将气象时间序列曲线分解成交织在一起的多尺度成份,并对不同尺度成份采用相应粗细的时域的取样步长,从而能不断聚焦到曲线的任意细节。这是子波分析优于窗口富氏分析之处。由于子波变换具有局部化的优点,因而可揭示出复杂的气象序列曲线中不易被观察到的急剧变化的局部特征。

对于一个离散的时间序列 $f(t)$ , ( $t = 1, 2, \dots, N$ ), 小波变换的形式可写为:

$$F_w(a, b) = \frac{1}{\sqrt{C_k}} \cdot \frac{1}{\sqrt{a}} \sum_{i=1}^N f(t) \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$$

式中 $C_k$ 为小波变换系数:

$$C_k = 2\pi \sum_{i=1}^N \frac{|\Psi(\omega)|^2}{|\omega|}$$

$a = 2^j$  ( $j = 1, 2, \dots$ ) 为放大因子,其倒数相当于频率,当 $a$ 较小时,频域分辨性较差,而时域分辨性较好,当频域分辨率增加时,时域分辨率则减小。一般取 $1 \leq a \leq N/4$ 较宜, $N$ 为样本数, $b$ 为平移因子; $\Psi(\omega)$ 是子波 $\Psi(x)$ 经富氏变换得到的谱。这里 $\Psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$ 为基本小波,它具有波动性和衰减性。基本小波有很多种形式,本文采用气象上常用的墨西哥帽子波对序列进行变换。其具体形式为:

墨西哥帽子波:

$$\Psi = (1 - x^2)E^{\frac{x^2}{2}}$$

### 2.2 结果分析

图2为墨西哥帽子波的剖面图,其穿零点为突变点,实线代表强降水日数偏多年,虚线代表强降水日数偏少年。

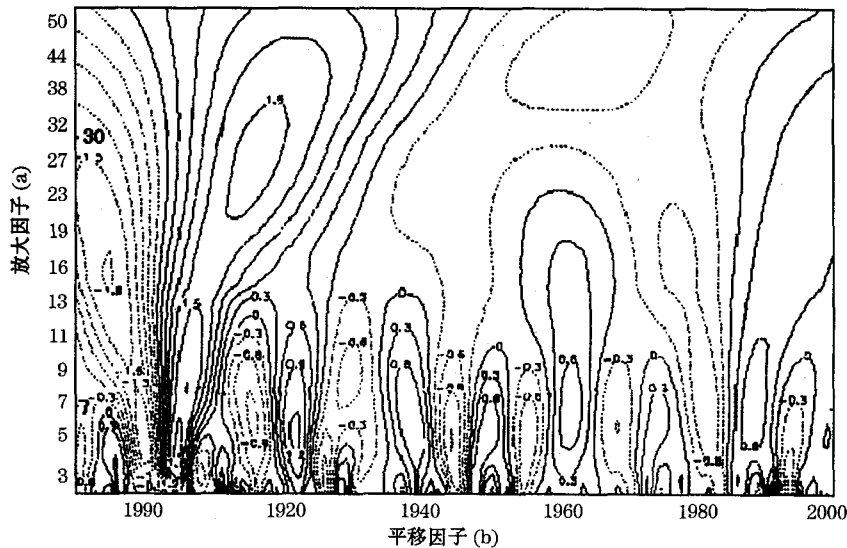


图2 福州近百年强降水日数小波变换图

取放大因子从1年到40年,从图中可看出有许多正、负曲线闭合中心,分别代表福州市强降水的偏多年和偏少年,观察其中闭合曲线的密集区,发现在7年左右的时间尺度上正、负闭合中心最明显,表明强降水日数序列在这个时间尺度下交替振荡最为显著,在这个尺度下从1890年至1999年这110年的时间里,强降水日数的变化可以分为15个阶段(表3所示)。从表中可以看出规律非常好,强降水日数的变化均在7年左右的时间里波动,偏多年段年距平为1.46,而偏少年段年距平为-1.18。从图2中也可看出小于这个时间尺度下的波动不明显。

如果我们从更长的如30多年时间尺度看,近百年来的暴雨日数只有4个阶段,为清楚起见,我们把两种时间尺度下的小波变换系数绘制成折线图形式,从中可看出,当 $a=7$ 时,有15个穿零点,而当 $a=30$ 时,只有3个穿零点,表明本世纪初之前暴雨日数偏少,其后至40年代初期为偏多的时期,40年代中后期至80年代中为偏少时期,80年代后期至今强降水日数又开始进入偏多时期。

表3 1890年~1999年强降水日数偏多偏少间隔年限及年距平

| 年份        | 性质 | 年数 | 年均频数 | 年均距平 |
|-----------|----|----|------|------|
| 1890~1902 | 偏少 | 13 | 1.3  | -2.6 |
| 1903~1912 | 偏多 | 10 | 6.2  | 2.3  |
| 1913~1919 | 偏少 | 7  | 3.9  | 0.0  |
| 1920~1925 | 偏多 | 6  | 6.7  | 2.8  |
| 1926~1932 | 偏少 | 7  | 3.4  | -0.5 |
| 1933~1940 | 偏多 | 8  | 4.9  | 1.0  |
| 1941~1946 | 偏少 | 6  | 1.7  | -2.2 |
| 1947~1952 | 偏多 | 6  | 5.0  | 1.1  |
| 1953~1958 | 偏少 | 6  | 2.7  | -1.2 |
| 1959~1965 | 偏多 | 7  | 4.9  | 1.0  |
| 1966~1971 | 偏少 | 6  | 2.5  | -1.4 |
| 1972~1977 | 偏多 | 6  | 4.0  | 0.1  |
| 1978~1984 | 偏少 | 7  | 2.4  | -1.5 |
| 1985~1990 | 偏多 | 6  | 5.8  | 1.99 |
| 1991~1999 | 偏少 | 9  | 3.9  | 0.0  |
| 年均频数      | 偏多 |    | 3.9  |      |

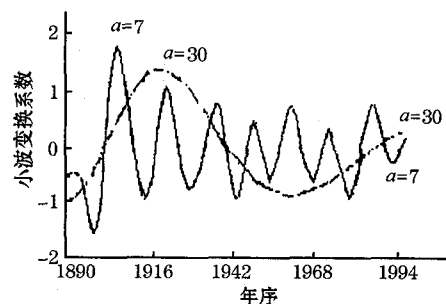


图3 不同时间尺度下小波变换系数比较

### 3 结 语

综上所述,福州市近 110 年来强降水频数的演变特征,有如下几点:

(1)大暴雨主要发生在 6~9 月,以 9 月为多;一般性暴雨主要发生在 5~9 月,以 6 月为多;1~3 月和 11~12 月历史上都未出现过  $\geq 100\text{mm}$  的大暴雨,一般性暴雨虽有,但也是极少数。这些统计事实与自然季节降水的分布特点相吻合。

(2)从年代演变情况看,大暴雨频数呈两峰三谷分布,在前 6 个年代呈偏少~正常~偏多~偏多~正常~偏少的演变态势;后 5 个年代呈偏少~正常~正常~偏少~偏多的演变态势。一般性暴雨各年代分布相对而言比较均衡。

(3)从小波分析看出近 110 年来福州市  $\geq 50\text{mm}$  强降水频数年际时间序列可划分为偏多和偏少相间的 15 个阶段,每阶段约为 7 年左右。当放大因子  $a=30$  时,只有 3 个穿零点,可看出本世纪初之前暴雨日数偏少,其后至 40 年代初期为偏多的时期,40 年代中后期至 80 年代中为偏少时期,80 年代后期至今强降水日数又开始进入偏多时期。

### 参考文献

- 1 吴 滨,张容焱.近百年登陆及影响福建的热带气旋的小波分析.大气科学研究与应用,1998,(1):24~28.
- 2 林振山.气候建模、诊断和预测的研究.北京:气象出版社,1998:136~202.

## Statistical Features of Frequency of Heavy Rainfall during Recent 100 Years in Fuzhou City

Liu Zengji Zou Yan

(The Meteorological Stationary of Fujian Province, Fuzhou 350001)

Wu Bin

(The Climatic Center of Fujian Province)

### Abstract

Analysis of the daily precipitation in Fuzhou by statistical and wavelet transform methods, the monthly and decade regulations of the rainy frequency with different intensity are obtained. It shows that: (1) The heavy rainfall always break out in the period from March to September, and the serious storms ( $R \geq 100\text{mm}$ ) are mostly concentrated within the typhoon season (from July to September), but from January to March and November to December, there is none. (2) For the decade distribution, it is constantly symmetrical. (3) The quite period of the heavy storms ( $R \geq 50\text{mm}$ ) during the recent one hundred and ten years is 14 years. All these results will provide a reliable climatic background for the ordinary heavy rain forecast.

**Key Words:** heavy rainfall frequency statistical method wavelet-transform